



COLEGIO DE BACHILLERES

# FÍSICA MODERNA I

FASCÍCULO 3. CONSERVACIÓN DE  
LA ENERGÍA MECÁNICA

Autores: Oseas Mecinas Contreras  
Guillermo Jesús Rosas Martínez



## **Colaboradores**

### **Asesoría Pedagógica**

María Elena Huesca del Río  
José Manuel López Estrada

### **Revisión de Contenido**

Salvador Godoy Salas

### **Diseño Editorial**

Leonel Bello Cuevas  
Javier Darío Cruz Ortiz

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	5
<b>PROPÓSITO</b>	7
<b>CUESTIONAMIENTO GUÍA</b>	9
<b>CAPÍTULO 1 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA</b>	11
<b>1.1 TRABAJO MECÁNICO</b>	11
1.1.1 Relación Energía – Trabajo	15
<b>1.2 ENERGÍA MECÁNICA</b>	16
1.2.1 Energía Cinética	16
1.2.2 Energía Potencial	24
1.2.3 Fuerzas	31
<b>1.3 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA     MECÁNICA</b>	34
1.3.1 Colisiones	41
<b>RECAPITULACIÓN</b>	44
<b>ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN</b>	45
<b>AUTOEVALUACIÓN</b>	48
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b>	49



## INTRODUCCIÓN

La energía tiene infinidad de aplicaciones en la vida: tecnológicas, industriales y domésticas. Se explota una amplia variedad de recursos energéticos, desde combustibles fósiles hasta el átomo. Por desgracia no es posible aprovechar la mayor parte de la energía ya que durante el proceso de uso tiene grandes pérdidas; la energía con la que se dispone es limitada.

La ley de la conservación de la energía es uno de los principios más importantes de la Física, ya que a partir de esta se establecen formas respecto a su conservación y utilización.

En mecánica, relatividad, gravitación, termodinámica, electromagnetismo, Física atómica o Física nuclear, la ley de la conservación de la energía es de suma importancia, lo que se comprobará con el estudio de la energía mecánica.



## PROPÓSITO

Con base en las características del trabajo mecánico y su relación con la energía, analizarás las características de la energía mecánica para establecer la ley de la conservación de la energía mecánica y qué sucede con la energía potencial y cinética en las colisiones.

Lo anterior lo lograrás considerando las características de la energía potencial y cinética y, a partir de una actividad experimental (colisiones), concluirás con la ley de la energía mecánica; las características de lo que sucede con esta energía, considerando los choques elásticos e inelásticos.

Comprenderás en que condiciones se cumple la ley de la conservación de la energía mecánica y establecerás el concepto de energía de configuración de un sistema (análisis de los choques elásticos).





## CUESTIONAMIENTO GUÍA

Como recordarás, la Física estudia las propiedades de la materia y la energía, pero, ¿por qué necesitamos estudiar las propiedades de la energía? ¿Qué tipo de energía conoces? ¿Cómo se mide y que beneficios nos proporciona? ¿Qué relación hay entre energía y trabajo? Desde el punto de vista de la Física, ¿quién realiza más trabajo, un futbolista o un investigador? ¿Por qué? La respuesta a esta y otras preguntas la encontrarás al estudiar, en este fascículo, las propiedades de la energía y su interacción con la materia para lograr un mayor y eficiente aprovechamiento de la energía.



# CAPÍTULO 1

## CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

### 1.1 TRABAJO MECÁNICO

La Física define trabajo como “una forma para medir la energía teniendo como antecedente que las personas tienden a medir el trabajo que realizan por el cansancio que sienten”, pero podemos preguntarnos acerca de las máquinas cómo se cuantifica la energía que emplean y cuál es el resultado de su trabajo.

Anteriormente consideramos que para levantar un cuerpo era necesario aplicar una fuerza, cuanto más pesado era éste mayor sería la fuerza y como consecuencia el trabajo sería mayor. De la misma manera, si la altura a la que se levantaba el cuerpo era mayor, el trabajo sería mayor. De la misma manera, si la altura a la que se levantaba el cuerpo era mayor, el trabajo sería mayor. De este análisis concluimos una relación para el trabajo:

$$W = pa,$$

donde:

$W$  = trabajo expresado en joules (J);  
 $P$  = peso expresado en newtons (N);  
 $a$  = altura expresada en metros.

Esta expresión algebraica de trabajo ( $W = Pa$ ) no es válida cuando empujamos o arrastramos un cuerpo, pues en este caso la altura del cuerpo sobre el piso es cero; por consiguiente, en lugar de considerar su altura nos estaremos refiriendo a la distancia ( $d$ ) que recorre y la fuerza ( $f$ ) aplicada, obteniendo la relación:

$$W = Fd.$$

En general, tanto la fuerza  $F$  como el trabajo  $W$  no dependen de la masa del cuerpo, ya que dos cuerpos de diferente masa reciben el mismo trabajo. No debemos olvidar que la fuerza gravitacional si depende de la masa del cuerpo y en este caso  $F = mg = P$  (figuras 1, 2, 3 y 4).

## ACTIVIDADES

Observa las siguientes ilustraciones y coloca una (w) dentro del paréntesis cuando consideres que se está realizando trabajo. Anota tus observaciones en cada caso.

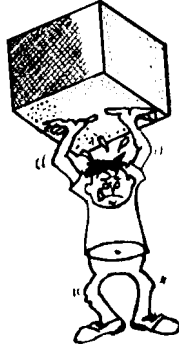


Figura 1. Tomado de Máximo Alvarenga, Máximo. Física general con experimentos. México, 1983.

( ) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Figura 2. Tomado de Cetto, Ana María y Tambutti, Romilio. El mundo de la física. México, 1987.

( ) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



Figura 3. Tomado de Smoot, Murphy. Física, principios y problemas. México, 1991.

( ) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

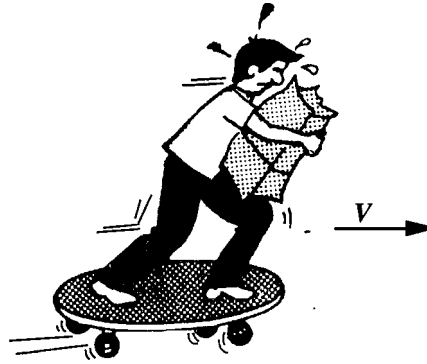


Figura 4. Tomado de Pérez Montiel, Héctor, Física general. Publicaciones Cultural, México, 1992.

( ) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

En estos casos se aplica fuerza sobre los cuerpos, pero éstos no se mueven; por lo tanto, el trabajo realizado es nulo (no hay trabajo), y la distancia es igual a cero, esto es:

$$W = Fd$$

$$W = F(0)$$

$$W = 0$$

Recuerda que el peso es una propiedad de la materia debido a la fuerza gravitacional que actúa sobre la masa de un cuerpo; es una magnitud vectorial, ya que es una fuerza con dirección vertical y sentido dirigido hacia el centro de la Tierra. Su magnitud o tamaño se calcula por medio de la siguiente expresión

$$P = mg,$$

donde:

P = peso expresado en newtons;

m = masa expresada en kg;

g = aceleración de la gravedad =  $9.8 \frac{m}{s^2}$  ;

en la superficie de la Tierra.

De ahí su equivalencia  $P = F$ ; F = fuerza expresada en newtons.

La masa es la cantidad de materia que contiene un cuerpo. Nótese la gran diferencia de los conceptos de peso y masa y la relación entre los mismos. Recuerda que:

W = trabajo;

F = fuerza;

d = distancia expresada en metros.

Al aplicar la fuerza al cuerpo éste se mueve (desplaza), más si el desplazamiento del cuerpo es paralelo a la fuerza ( en este caso se dice que la fuerza es en dirección al desplazamiento) se realiza un trabajo positivo (figura 5).

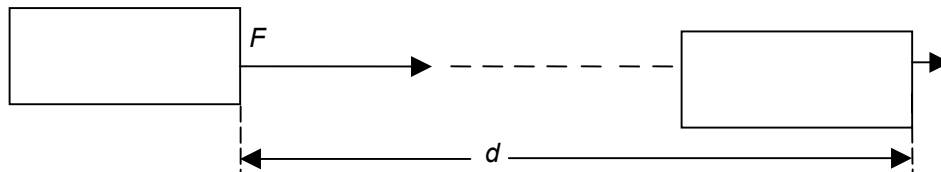


Figura 5. El trabajo es la fuerza  $F$ , multiplicada por la distancia  $D$  ·  $W = f \times d$ . Una fuerza más pequeña recorriendo una mayor distancia  $d$ , debe dar el mismo resultado.

Cuando la fuerza que se aplica no es paralela al desplazamiento, es necesario, por lo tanto, considerar solo la fuerza que actúa paralelamente al desplazamiento. Figura 6.

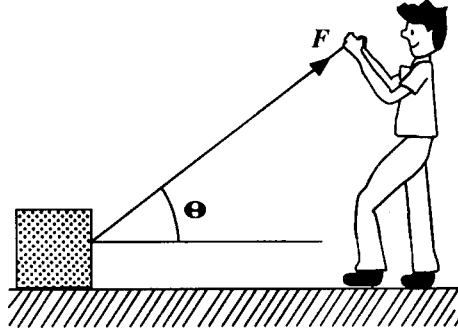


Figura 6. La fuerza y el desplazamiento forman un ángulo  $\theta$ .  
Tomado de Oyarzábal y Velasco, Félix. Lecciones de física. México, 1987.

Con base en nuestros conocimientos de Trigonometría establecemos que la fuerza que actúa paralelamente al desplazamiento, se obtiene mediante:

$$Fd = F \cos \theta$$

Donde:

- $Fd$  = fuerza en dirección del desplazamiento;
- $\theta$  = ángulo formado por la fuerza con respecto a la dirección de desplazamiento;
- $\cos \theta$  = valor numérico adimensional;
- $F$  = Fuerza aplicada al cuerpo.

De acuerdo con estas consideraciones nuestra expresión sobre el trabajo presenta una pequeña modificación válida en cualquier caso.

$W = Fd = F (\cos \theta) d = F d \cos \theta$	$\circ \quad \begin{aligned} W &= Fd \\ W &= F \cos \theta d \\ W &= Fd \cos \theta \end{aligned}$
--	--

La componente vertical (fuerza vertical) no realiza trabajo porque no hay desplazamiento del cuerpo en esa dirección. Recuerda que:

- Joules = newtons x metros, y
- Newtons =  $\text{Kg} \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , es decir,
- Newtons = masa multiplicada por la aceleración.

Si ahora consideramos una fuerza que actúa en sentido contrario al desplazamiento, esto es, que retarde el movimiento del cuerpo, ¿qué sucede con el trabajo realizado sobre el cuerpo? Puesto que el coseno de  $\theta = 180^\circ$  es  $-1$ , al sustituir este valor en nuestra expresión, tendremos:

$$W = Fd \cos \theta$$

$$W = Fd (-1)$$

$$W = -Fd$$

Por consiguiente

Cuando la fuerza actúa en sentido opuesto al desplazamiento, el trabajo realizado sobre un cuerpo será negativo.

En conclusión, el trabajo puede ser positivo o negativo de acuerdo con el sentido de la fuerza respecto al desplazamiento.

### 1.1.1 Relación Energía–Trabajo

Al aplicar una fuerza se manifiesta energía y esta fuerza nos permite realizar un trabajo. En el pasado la mayor parte de la fuerza necesaria para realizar un trabajo la suministraba el hombre y las bestias (caballos y bueyes), hoy las máquinas las han reemplazado.

Las máquinas funcionaban con base en el consumo de un combustible (energía química); en el caso de las máquinas mecánicas, su función se da a partir de la aplicación de una fuerza, en donde consideramos que se realiza un trabajo sobre el sistema para que desarrolle otro denominado trabajo de entrada y trabajo de salida. Por consiguiente:

Un sistema cualquiera intercambia energía cuando realiza un trabajo, es decir, la energía intercambiada por el sistema y sus alrededores se medirá por el trabajo que realiza; si la energía la recibe el cuerpo, el trabajo es positivo; si la energía la cede el cuerpo, el trabajo será negativo.

## 1.2 ENERGÍA MECÁNICA

En el capítulo anterior consideramos que cuando un cuerpo posee energía tiene la capacidad de realizar trabajo, pero existen muchas formas de energía, por ejemplo: química, gravitacional, eléctrica y nuclear, entre otras; no obstante, la analizaremos en el sentido mecánico par comprender la ley de la conservación de la energía.

### 1.2.1 Energía Cinética

En Física, la energía se define como capacidad de realizar trabajo, en tanto es cinética, por lo que todo cuerpo en movimiento tiene capacidad de realizar trabajo, de ahí la importancia de este fenómeno.

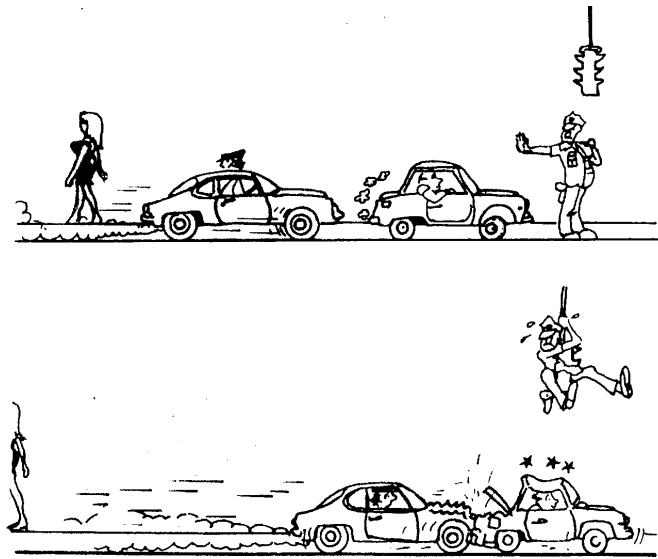


Figura 7. Tomado de Alvarenga, Máximo. Física general con experimentos. México, 1983

El trabajo se manifiesta al cambiar la velocidad del cuerpo sobre el que actúa una fuerza, figura 8. Sea el ejemplo de un cuerpo que se mueve sin rotación bajo la acción de una fuerza.

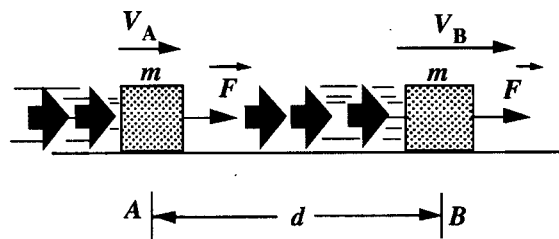


Figura 8. Tomado de Alvarenga, Máximo. Física general con experimentos. México, 1983



El trabajo realizado por la fuerza resultante produce una variación en la energía cinética del cuerpo donde:

$m$  = La masa del cuerpo en kilogramos;

$F$  = fuerza que actúa sobre él en la línea del movimiento en newtons;

$t$  = intervalo de tiempo en segundos;

$V_f$  = velocidad final en metros/segundos;

$V_i$  = velocidad inicial en metros/segundos.

*Momentum* original es  $mV_i$  y *momentum* final  $mV_f$ , por consiguiente, el incremento de *momentum* es  $m(V_f - V_i)$  y de acuerdo con la segunda ley de movimiento, es igual a  $Ft$  (impulso).

$$Ft = m(V_f - V_i).$$

Puesto que la fuerza es constante, la velocidad aumenta uniformemente con el tiempo; la velocidad media es la media aritmética de las velocidades inicial y final.

$$V = \frac{1}{2}(V_f - V_i),$$

y la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado es:

$$V = \frac{d}{t}; \text{ despejando } d:$$

$$d = Vt; \text{ sustituyendo la velocidad media:}$$

$$d = \frac{1}{2}(V_f - V_i)t; \text{ multiplicando entre sí los miembros correspondientes de esta última ecuación con la del impulso tenemos:}$$

$$Ftd = \frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mV_i^2 \quad t.$$

Simplificando:

$$Fd = \frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mV_i^2;$$

donde  $Fd$  es el trabajo hecho por la fuerza  $F$  que actúa sobre el cuerpo mientras éste se mueve a través de la distancia  $d$  en la dirección de aquella. Tenemos:

$$Fd = \frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mV_i^2 = W \quad \frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mV_i^2;$$

Si  $\frac{1}{2} mV^2$  es el semiproducto de la masa por el cuadrado de la velocidad, éste corresponderá a la energía cinética del cuerpo ( $E_c$ ) al principio, y si este parte del reposo:  $-\frac{1}{2} mV^2 = 0$ .

Entonces:  $\frac{1}{2} mV^2$  será la energía cinética después de la acción de la fuerza  $f$  a través de la distancia  $d$ .

$E_c =$  energía cinética:  $E_c = \frac{1}{2} mV^2$ .

Ya que se ha definido a la energía de un cuerpo como la capacidad que tiene para hacer trabajo y se mide por el trabajo que puede hacer, *la energía cinética de un cuerpo es la energía que tiene la virtud de estar en movimiento* (figuras 9,10, 11 y 12).

$$E_c = mV^2 \text{ o.}$$

$E_c = \frac{1}{2} mV \cdot V$ , es decir, el semiproducto de su momentum por su velocidad.

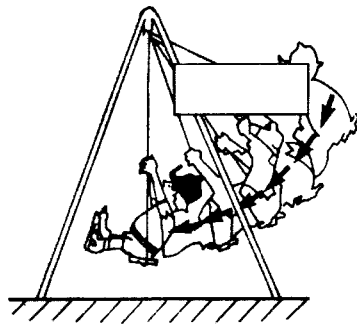


Figura 9. Tomado de Alvarenga, Máximo., Física general con experimentos. México, 1983

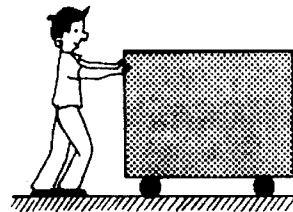


Figura 11 Tomado de Cetto, Ana María y Tambutti Romilio. El mundo de la física. México, 1987

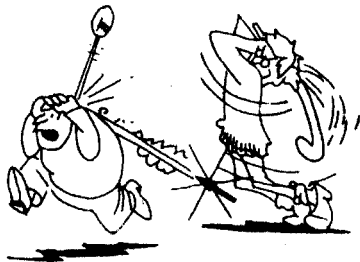


Figura 10. Tomado de Alvarenga, Máximo., Física general con experimentos. México, 1983

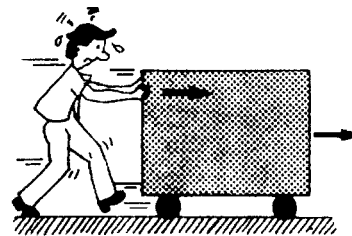


Figura 12 .Tomado de Cetto, Ana María y Tambutti Romilio. El mundo de la física. México, 1987

## ACTIVIDADES

En cuál de las ilustraciones anteriores la energía cinética vale cero (0) y ¿por qué?

---

---

---

---

Al realizar trabajos positivos, la velocidad del cuerpo y su energía cinética aumentan (figura 13). Cuando el trabajo es negativo la velocidad del cuerpo disminuye y su energía cinética también disminuye (figura 14).

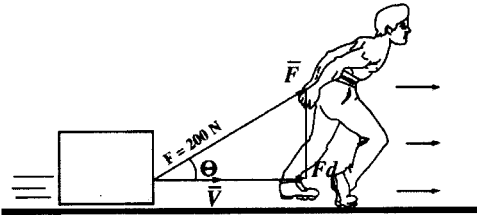


Figura 13.

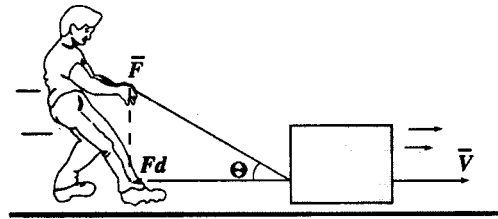


Figura 14.

Una masa  $m$  se aproxima a un muelle con velocidad  $V_0$ .

Choca contra el muelle e inicia la compresión (trabajo negativo, el cuerpo se frena).

Cuando el muelle es comprimido, la distancia  $x$  adquiere la longitud  $s$ , la velocidad de la masa disminuye a  $v$ . La masa ha perdido energía cinética, que se almacena en forma de energía potencial por el muelle comprimido.

En el estado de máxima compresión, la masa queda en reposo. Toda su energía cinética ha desaparecido.

A medida que el muelle se dilata, la masa gana velocidad y energía cinética (trabajo positivo).

La masa ha vuelto al lugar donde inició la interacción. De nuevo posee la velocidad original  $V_0$  y la energía cinética inicial. La interacción ha terminado.

La masa continúa desplazándose con velocidad  $V_0$  y con su energía cinética original.

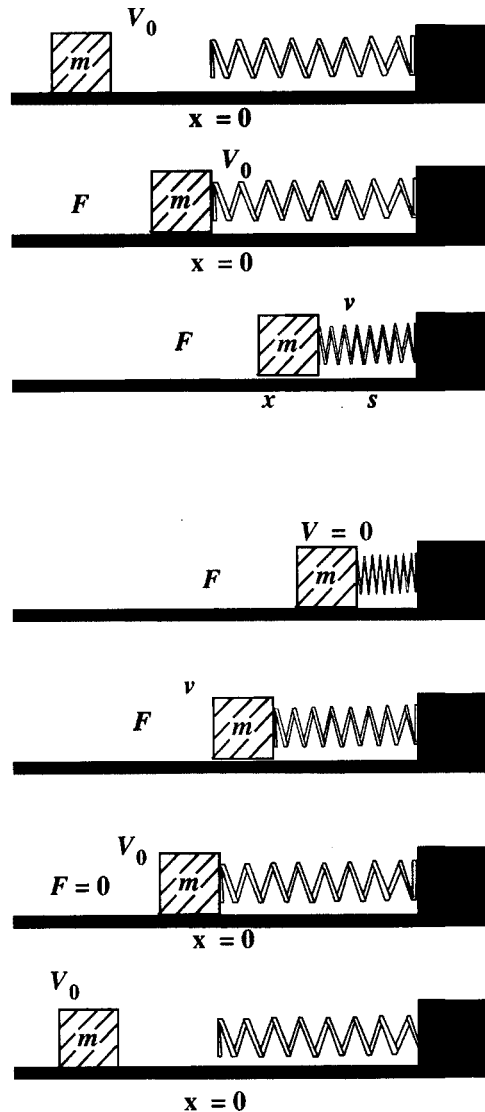


Figura 15. Colisión entre una masa  $m$  y un muelle atado a una pared sólida que en apariencia no se mueve. Tomado de Haber-Scaim, et al. Física. PSSC. 1975.

El trabajo de una fuerza depende del ángulo entre ella y el desplazamiento (figura 15).

## ACTIVIDADES

¿Qué trabajo (positivo o negativo) se realiza en las figuras 16, 17 y 18? ¿Por qué?

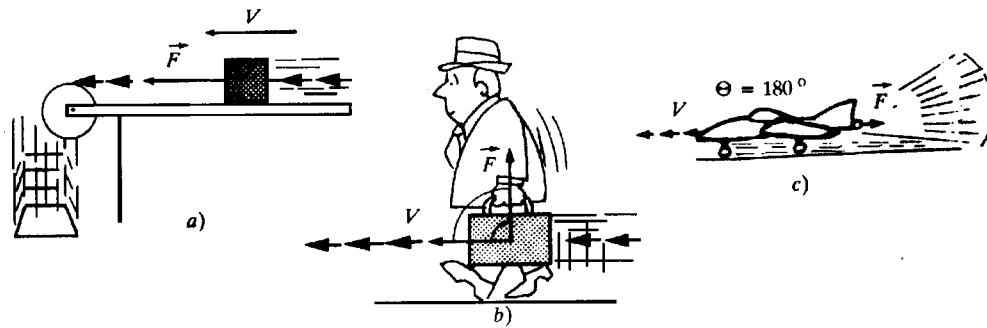


Figura 16. Tomado de Alvarenga, Máximo, Física general con experimentos. México, 1983.

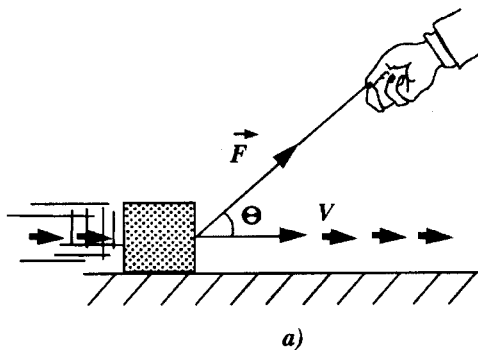


Figura 17. Tomado de Alvarenga, Máximo, Física general con experimentos. México, 1983.

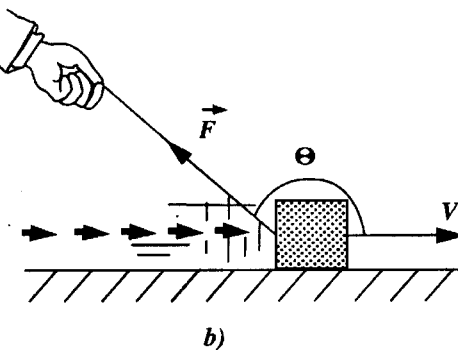


Figura 18. Tomado de Alvarenga, Máximo, Física general con experimentos. México, 1983

### Ejemplos

1. ¿Cuál es la energía cinética de un automóvil de 1.6 toneladas para los siguientes casos?

a) Parte de reposo ( $V_i = 0$ ).

*Fórmula*

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2$$

*Equivalencia*

$$1 = 1000 \text{ kg.}$$

*Conversión*

$$m = 1.6 \times \frac{1000\text{kg}}{1} = 1600 \text{ kg.}$$

*Desarrollo*

$$E_c = \frac{1}{2} (1600 \text{ kg}) (0);$$

*Solución*  $E_c = 0\text{J.}$

b) viaja a  $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ .

*Equivalencia*

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

*Fórmula*

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2.$$

*Conversión*

$$30 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 8.333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

*Desarrollo*

$$E_c = \frac{1}{2} (1600 \text{ kg}) \left( 8.333 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = \frac{1}{2} \times 1600 \times 69.438 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2};$$

*Solución*  $E_c = 55\,551.1 \text{ J.}$

c) Viaja a  $60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

*Conversión*

$$60 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times 1 \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 16.666 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

*Fórmula*

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2.$$

*Desarrollo*

$$E_c = \frac{1}{2} (1600 \text{ kg}) \left( 16.666 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = \frac{1}{2} (1600)(277.777) \frac{\text{kg m}^2}{\text{s}^2};$$

*Solución*  $E_c = 222\,222.2$

## ACTIVIDADES

- Un automóvil de 3 t que se mueve inicialmente con una velocidad de 50 km/h, acelera hasta alcanzar una velocidad de 120 km/h.
  - ¿Cuál es la energía cinética final del automóvil?
  - ¿Cuánto trabajo realiza la fuerza de tracción del automóvil?
  - ¿Cuánto trabajo se requiere para detener al automóvil?

Nota: recuerda que debes transformar a unidades SI.

- Un satélite artificial gira con movimiento circular uniforme alrededor de la Tierra, (figura 19).

- a) ¿Cuál es el ángulo entre la fuerza ( $F$ ) de atracción de la Tierra y la velocidad ( $V$ ) del satélite? \_\_\_\_\_
- b) Con base en la respuesta anterior, que trabajo realiza la fuerza ( $F$ ) sobre el satélite. \_\_\_\_\_
- c) Entonces, ¿la fuerza ( $F$ ) transfiere energía al satélite? \_\_\_\_\_
- d) De este modo la  $E_c$  del satélite ¿aumenta, disminuye o permanece constante? \_\_\_\_\_

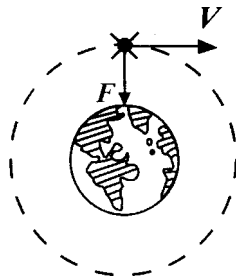


Figura 19. Tomado de Alvarenga, Máximo., Física general con experimentos. México, 1983.

3. Observa la figura 20.

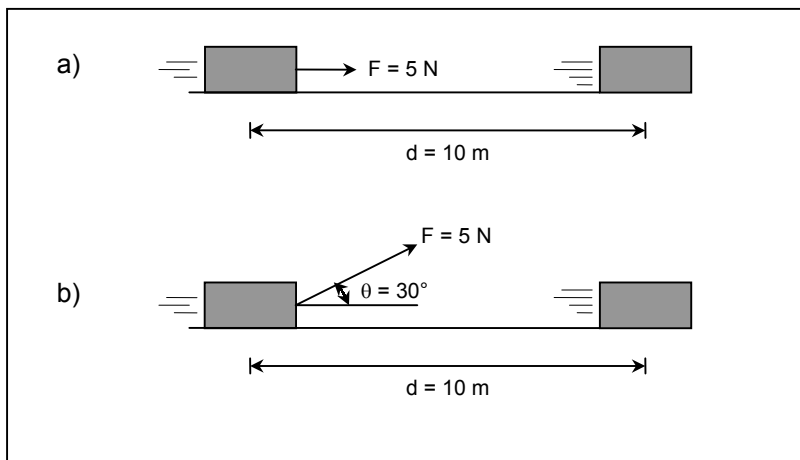


Figura 20.

¿En cuál de los dos ejemplos hay mayor trabajo? Justifica tu respuesta.

---

---

---

4. Una persona levanta un cuerpo de 1500 N desde el suelo hasta una altura de 1.30 m. Si mantiene el cuerpo a esa altura y camina sobre el suelo a 4.5 m, ¿cuánto trabajo realiza durante la actividad? \_\_\_\_\_

---

---

### 1.2.2 Energía Potencial

Otra forma de energía que corresponde a la energía almacenada es la energía potencial, que depende de la posición del cuerpo.

Las posiciones o configuraciones en las que se basa la energía potencial son entre dos puntos cualesquiera, a desnivel uno del otro (figura 21). Entre las diversas formas de energía potencial está: la gravitacional (figura 22), la de un resorte, o la de una sustancia química.

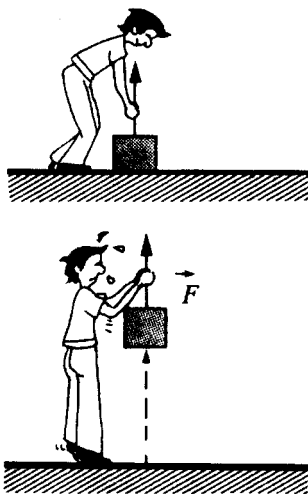


Figura 21. Tomado de Cetto, Ana María y Tambutti Romilio. El mundo de la Física. México, 1987.

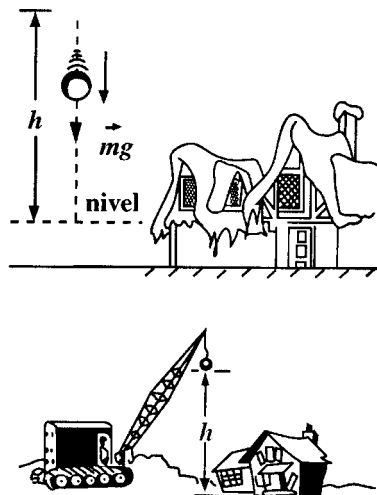


Figura 22. Tomado de Alvarenga, Máximo. Física general con experimentos. México, 1983.



Como ejemplo de la aplicación de la energía potencial podemos citar:

1. El agua contenida en una presa; al abrir las compuertas de la misma, el agua baja y realiza un trabajo para accionar las turbinas de las centrales eléctricas.
2. El martinete que se utiliza en las obras de construcción para hacer pilotes.

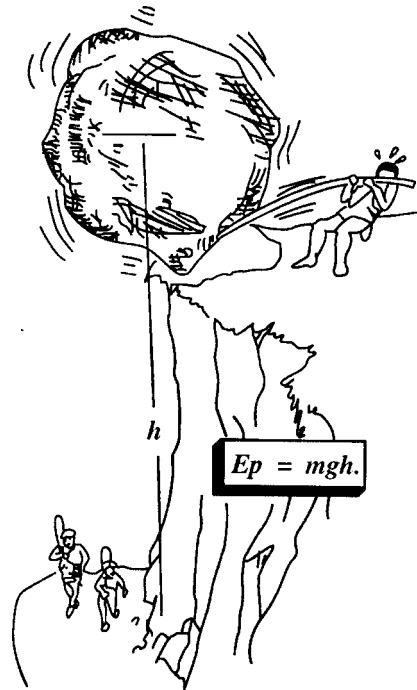


Figura 23. La peña tiene energía potencial en relación con su configuración al nivel inferior, por consiguiente, puede realizar un trabajo. Tomado de Alvarenga, Máximo., Física general con experimentos. México, 1983.

Recuerda que el trabajo está dado por:

$$W = fd.$$

Para este caso la distancia es igual a la altura  $h$ , por lo que  $W = Fh$  y la energía potencial desarrolla el trabajo,  $W = Ep$ , donde  $Ep$  = energía potencial expresada en J, y así  $Ep = Fh$ . La fuerza de gravedad sobre el cuerpo es igual a su peso,  $F = P$ .

Recuerda que  $P = mg$  y que  $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ ; por consiguiente, la energía potencial en el caso de la fuerza gravitacional queda expresada de la siguiente forma:

$$Ep = mgh.$$

Distintas fuerzas darán diferentes expresiones para la energía potencial. De

hecho, hay fuerzas que no poseen energía potencial.

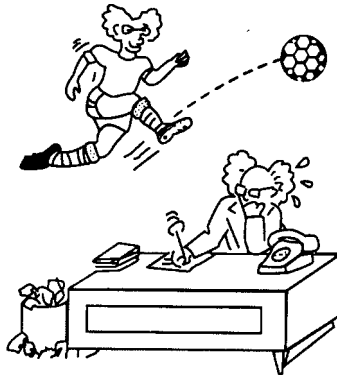


Figura 24. De acuerdo con la Física el futbolista hace más trabajo que el investigador. Tomado de Cetto, Ana María y Tambutti Romilio. El mundo de la Física. México, 1987.

La  $E_p$  se reduce cuando la altura disminuye y la  $E_p$  aumenta cuando la altura se incrementa. Por ejemplo, si se lanza una pelota de masa  $m$  hacia arriba, actúa una fuerza vertical hacia debajo de magnitud  $mg$ ; por lo tanto, al subir la altura, aumenta la energía potencial en  $\Delta E_p = Fd = (mg)d$  (figura 25).

Independientemente de la velocidad que lleva la pelota y de la trayectoria que siga, el cambio de  $E_p$  depende sólo del tipo de interacción y del cambio de altura.

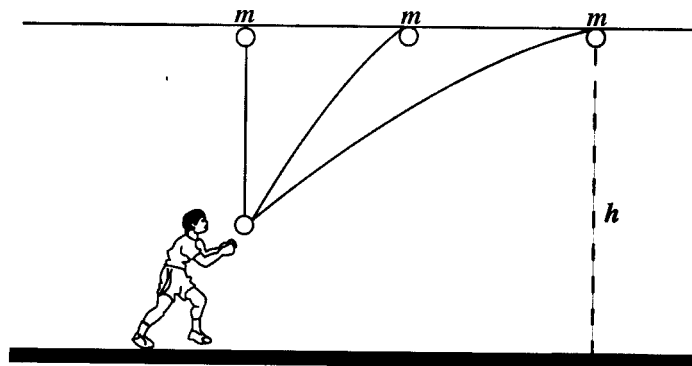


Figura 25. El cambio de  $E_p$  no depende de la trayectoria que sigue la pelota.

Otro aspecto que debemos analizar es el punto de referencia, el cual tampoco se relaciona con la  $E_p$ . Este nivel se escoge por comodidad respecto al punto más bajo en que el objeto puede alcanzar, pero el nivel donde  $h$  es cero puede ser cualquiera (figura 26).

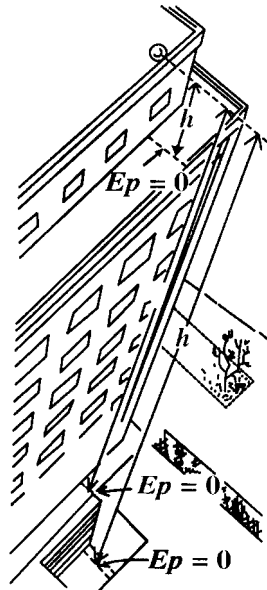


Figura 26. Podemos elegir cualquier altura para localizar energía potencial cero. La elección es arbitraria porque solo trataremos de variaciones de energía potencial. Tomado de Haber-Scaim, et al. Física. PSSC. 1975.

Supongamos que un cuerpo que cae desde una altura  $h$  por encima de la superficie de la Tierra a una altura  $h'$ , recorriendo la distancia  $d = h - h'$ , la energía potencia cambia en:

$$\begin{array}{ll} E_p = mgh & \text{en la altura } h; \\ \text{y } E_{p'} = mgh' & \text{en la altura } h'; \end{array}$$

por lo que la variación de la energía potencia será:

$$\begin{array}{l} E_{p'} - E_p = mgh' - mgh; \\ E_{p'} - E_p = mg(h' - h); \\ \text{y como } d = h - h'; \\ E_{p'} - E_p = -mgd. \end{array}$$

Como  $mgd$  representa el producto de la fuerza  $mg$  que actúa sobre la masa  $m$ , multiplicada por la distancia que esta recorre en su caída, el trabajo  $W$  es igual al decremento de energía potencial  $W = -(E_{p'} - E_p)$ . Por lo tanto, esta expresión nos da el cambio de energía cinética experimentando al pasar de  $h$  a  $h'$ .

$$\begin{array}{l} mgd = E_{c'} - E_c \\ E_{p'} - E_p = -mgd = -(E_{c'} - E_c). \end{array}$$

Los cambios de energía y potencial cinética son exactamente opuestos, pues al caer un cuerpo la energía potencial decrece y la energía cinética se incrementa en la misma cantidad. Al descender un cuerpo la energía cinética disminuye y la energía potencial crece en igual valor.

Como toda transformación de energía potencial viene acompañada de un cambio igual y opuesto de energía cinética, la suma de ambos tipos de energía permanece constante.

$$E_p + E_c = E_{p'} + E_{c'}$$

donde:

$$E = E_p + E_c \quad \text{y} \quad E = E_{p'} + E_{c'}$$

$E$  es la energía total; en un instante los valores de  $E_p$  y  $E_c$  pueden variar, pero la suma permanece constante.

Recuerda que la energía potencial, al igual que la cinética, son de gran importancia, pues ambas desarrollan un trabajo; la segunda depende de su velocidad y la primera de su configuración.

### Ejemplos

1. Una masa de 1 500 kg cae sobre la parte superior de un pilote desde una altura de 3.5 m y lo entierra 75 cm en el suelo.

a) ¿Cuánta energía comunica la masa del pilote?

*Datos*

$$\begin{aligned} m &= 1\,500 \text{ kg} \\ h &= 3.5 \text{ m} + 75 \text{ cm} \\ g &= 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

*Fórmula*

$$E_p = mgh$$

*Desarrollo*

$$E_p = mgh$$

$$E_p = 1500 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 4.25 \text{ m}$$

$$E_p = 62\,475 \text{ J}$$

*Equivalencia*

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

*Conversiones*

$$75 \text{ cm} \times \frac{1\text{m}}{100\text{cm}} = 0.75 \text{ m};$$

$$h = 3.5\text{m} + 0.75\text{m} = 4.25 \text{ m}.$$

b) ¿Cuánto trabajo puede realizar la masa? Como la energía potencial se convierte

en trabajo:

$$W = E_p;$$

por lo tanto:

$$W = 62475 \text{ J.}$$

2. A un recipiente de 10 N se le aplica una fuerza y se levanta 1 m. A cuánto equivale el trabajo realizado?

*Fórmula*

$$W = Pa$$

*Desarrollo*

$$\begin{aligned} W &= 10 \text{ N} \times 1 \text{ m} \\ W &= 10 \text{ N} \times \text{m, o} \\ W &= 10 \text{ J.} \end{aligned}$$

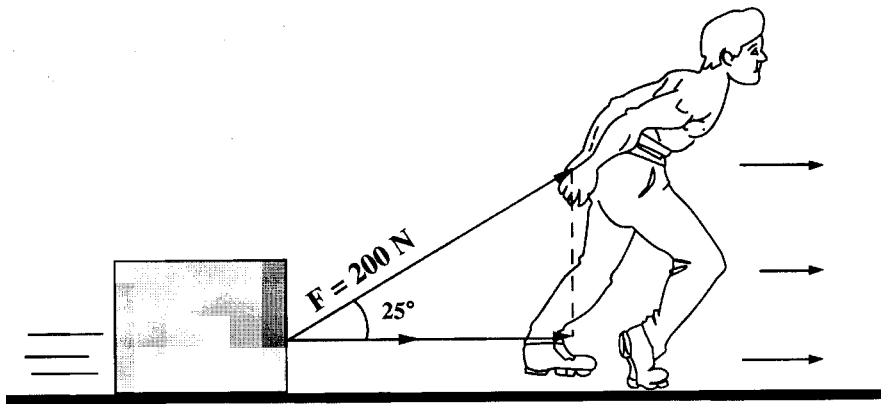


Figura 27.

a) Calcula el trabajo realizado por la fuerza al desplazar 2 m el cuerpo.

*Fórmula*

$$W = F d \cos \theta$$

*Desarrollo*

$$\begin{aligned} W &= 200 \text{ N} \times 2 \text{ m} \times \cos 25^\circ \\ W &= 400 \text{ N} \times \text{m} \times 0.9063 \\ W &= 362.52 \text{ J.} \end{aligned}$$

b) Calcula el trabajo si la fuerza es paralela al desplazamiento.

*Fórmula*

$$W = F d$$

*Desarrollo*

$$\begin{aligned} W &= 200 \text{ N} \times 2 \text{ m} \\ W &= 400 \text{ J} \end{aligned}$$

## ACTIVIDADES

- Supón que alzas un bulto de 50 Kg de altura, a velocidad constante, y luego lo dejas caer hasta el suelo.
  - Calcula el trabajo realizado para subir el bulto.
  - Establecer el trabajo realizado sobre el bulto durante la caída.
  - Calcular la fuerza con que se realizó este último trabajo,
- ¿Qué cuesta más trabajo: alzar un bulto de 50 kg a 2 m o levantar un bulto de 100 kg a 1m? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- ¿Qué cuesta más trabajo: imprimirle a un coche en reposo de 800 kg una velocidad de 80 km/h, o imprimirle a un coche de 1600 kg una velocidad de 40 km/h? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Un coche avanza a 40 km/h ¿Qué cuesta más trabajo: elevar su velocidad de 80 km/h o detenerlo? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- Una honda describe un movimiento circular uniforme bajo la acción de una fuerza centrípeta.
  - ¿Sea altera la energía cinética de la honda durante su movimiento? ¿Por qué?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
  - ¿Se realiza algún trabajo sobre la honda? ¿Cuál?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 1.2.3 Fuerzas

#### Fuerzas conservativas

Para estas fuerzas la energía potencial  $E_p$  se puede definir considerando que el trabajo no depende de la trayectoria recorrida; las fuerzas conservativas permiten el almacenamiento de energía potencial.

La energía mecánica es un caso particular del principio de la conservación de la energía, se conserva aun cuando actúan fuerzas conservativas sobre el cuerpo.

La energía mecánica total de un sistema se conserva únicamente para fuerzas conservativas, esto es, la  $E_p$  y  $E_c$  siempre dan el mismo valor al sumarse en cualquier momento. Mediante la siguiente analogía lo comprenderás (figura 28).

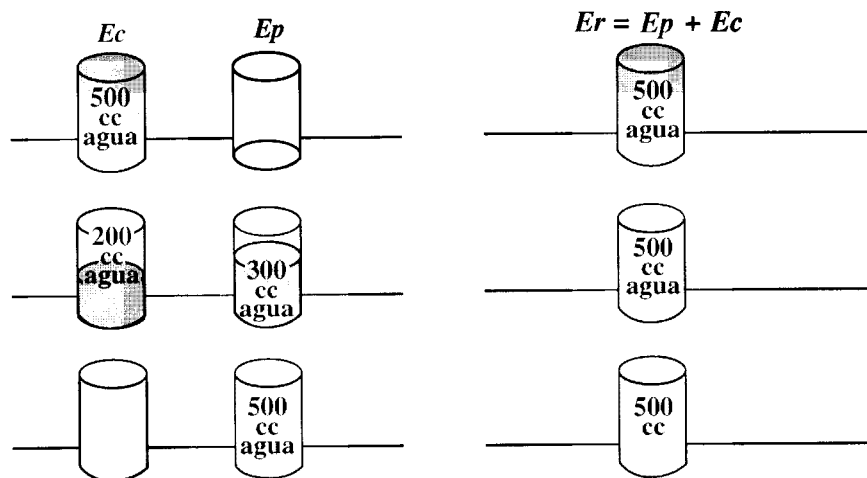


Figura 28.

En todos los casos la cantidad de agua se conserva, por lo que el sistema se llamará conservativo.

Ahora, considerando un cuerpo que para desplazarse del punto A al B, lo puede hacer por tres trayectorias diferentes, de acuerdo con la figura 29.

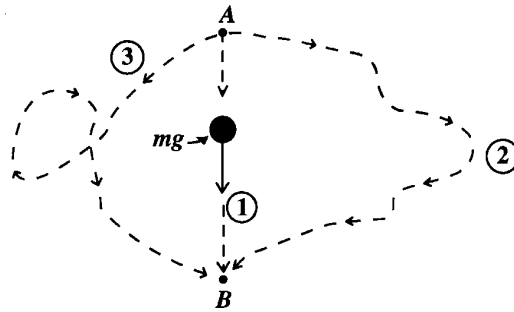


Figura 29.

Y recordando que  $p = mg$ , el trabajo que se realiza en cada una de las trayectorias es:

Trayectoria 1:  $W_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$

$W_{AB}$  = trabajo realizado del punto A al B.

$E_{PA}$  = energía potencial en el punto A.

$E_{PB}$  = energía potencial en el punto B.

Trayectoria 2:  $W_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$ .

Trayectoria 3:  $W_{AB} = E_{PA} - E_{PB}$ .

De acuerdo con estos resultados, el trabajo realizado por el peso de un cuerpo no depende de la trayectoria, sino del cambio en la energía potencial de éste (figuras 30 y 31).

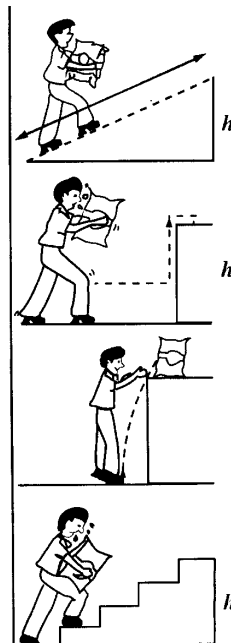


Figura 30. En estos casos el trabajo es independiente de la trayectoria seguida.  
Tomado de Cetto, Ana María y Tambutti Romilio. El mundo de la Física. México, 1987.



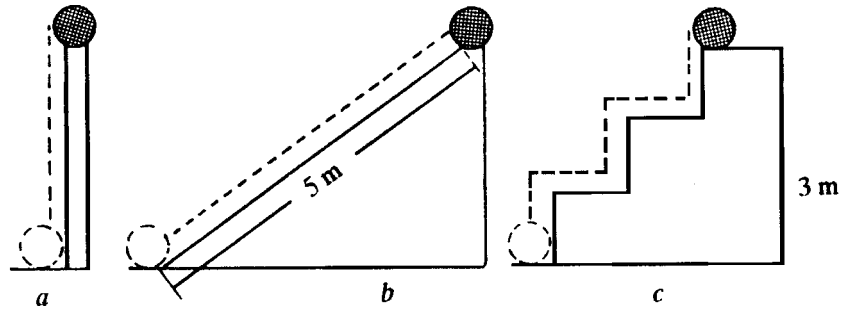


Figura 31. La energía potencial de la bola de 10 N es la misma (30 J) en los tres casos, porque el trabajo efectuado para elevarla 3 m es el mismo, ya sea que a) se levante con 10 N de fuerza, b) se le empuje con 6 N de fuerza hacia arriba, los 5 m del plano inclinado, o c) se levante con 10 N cada metro de la escalera. No se efectúa trabajo al moverá en forma horizontal aun haciendo caso omiso de la fricción. Tomado de Heitt. Conceptos de Física. México, 1992.

### Fuerzas no conservativas

Ejemplo de éstas es la fuerza de fricción, donde de acuerdo con la trayectoria el trabajo tendrá valores distintos. Para estas fuerzas no se puede definir la energía potencial. La fricción se conoce como una fuerza disipativa y una cierta cantidad de trabajo no es destruida si se le hace con una fuerza didipativa; da como resultado la producción de cierta cantidad de calor, pero la energía no es almacenada ni recuperable, en el mismo sentido que el trabajo hecho al comprimir un resorte o levantar un cuerpo.

### 1.3 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA

Existe la costumbre de observar la transformación de un tipo de energía en otro: la potencial en cinética y viceversa; algunos ejemplos de este tipo son la presa y el pilote donde la energía potencial se convierte en cinética, y el péndulo, donde los tipos de energía se transforman periódicamente uno en otro (figura 32).

En todos los casos donde actúen fuerzas conservativas, la energía mecánica total, es decir, la energía cinética más la energía potencial en cualquier instante de la trayectoria es la misma; por ejemplo, la fuerza gravitacional, pues en cualquier trabajo que realice un cuerpo contra la fuerza de gravedad de la Tierra, la energía se recuperará íntegramente cuando el cuerpo descienda.

$$Em = Ec + Ep$$

donde  $Em$  = energía mecánica total expresada en joules. Sustituyendo las expresiones de las energías:

$$Em = \frac{1}{2} mv^2 + mgh.$$

En resumen, “la energía existente en un sistema es una cantidad constante que no se crea ni se destruye, únicamente se transforma”.

Respecto de fuerzas no conservativas (por ejemplo la fricción) no podemos hablar de energía potencial; sin embargo, la conservación de la energía se mantiene en la forma:

$$Em = Ec + Q$$

donde  $Q$  es ahora el calor disipado al ambiente. En este caso la  $EC$  disminuye siempre y eventualmente el calor transporta la energía a la atmósfera.

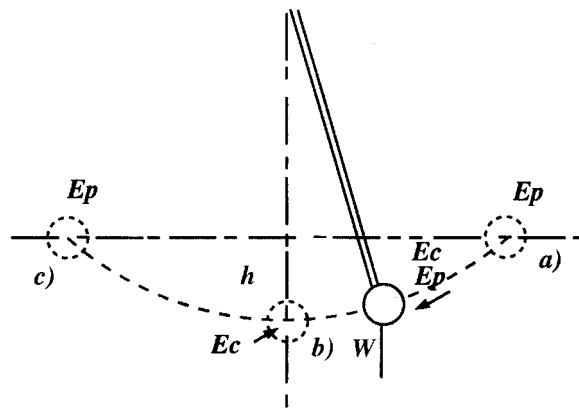


Figura 32.

Un péndulo es otro ejemplo de la conversión entre  $E_c$  y  $E_p$ . Al mover el péndulo hacia un lado antes de soltarlo se ha hecho un trabajo en contra de la gravedad, puesto que la masa ha sido levantada a una altura  $h$ . En la posición  $A$  tiene una cantidad de  $Ph$  de energía ( $P$  es el peso del cuerpo). Al ser soltado, el péndulo oscila hacia abajo y la  $E_p$  cambia a  $E_c$  al estar en el punto más bajo. Después de pasar este punto, la  $E_c$  vuelve a ser  $E_p$ ; y en caso de que no haya resistencia del aire, la masa volverá a subir la misma altura  $h$ .

Si tenemos en cuenta lo que sucede con el movimiento del péndulo –en el punto más bajo dejamos al péndulo en libertad– este seguirá la trayectoria conforme al esquema siguiente.

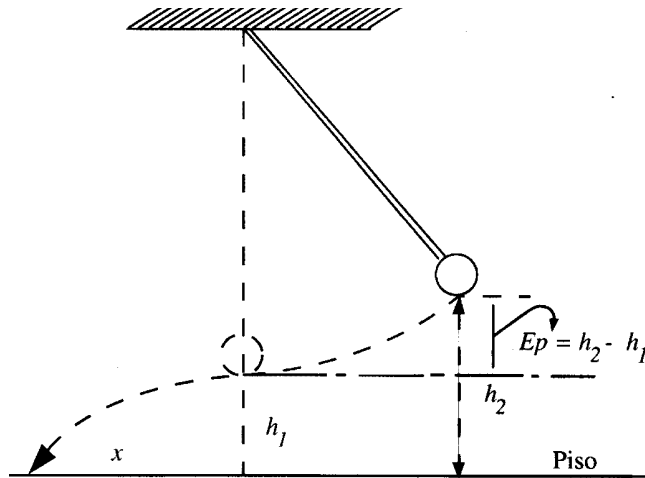


Figura 33.

Se observa que la velocidad es horizontal cuando el péndulo queda en libertad, por consiguiente, la llamamos  $V_x$  y la  $E_c$  se calcula mediante:

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2 = \frac{1}{2} mV_x^2$$

La velocidad  $V_x$  se determinará por medio de:  $V_x = \frac{x}{t}$ .

Se ha comprobado que el tiempo que tarda un cuerpo en llegar al piso en caída libre es igual si se lanza en forma horizontal, con la misma condición, por lo tanto, el tiempo que tarda el péndulo en chocar con el suelo, recorriendo la distancia  $x$ , se calcula por medio de  $t_2 = \frac{2h_1}{g}$ , expresión que determina el tiempo en la caída libre de un cuerpo, la cual se sustituirá en:

$$E_c = \frac{1}{2} m \left( \frac{x}{t} \right)^2 \text{ quedando: } E_c = \frac{1}{2} m \left( \frac{x^2}{\frac{2h_1}{g}} \right)$$

Las consideraciones anteriores nos permiten cuantificar la energía potencial del cuerpo y la energía cinética que alcanza en el momento de liberarse.

$$\text{Si } E_p = E_c \text{ y } E_p = mg(h_2 - h_1), \quad E_c = \frac{1}{2} m \frac{x^2}{g};$$

$$mg(h_2 - h_2) = \frac{1}{2} m \frac{x^2}{g}$$

Al simplificar, tenemos:

$$(h_2 - h_2) = \frac{x^2}{4h_1},$$

$$E_p = E_c$$

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 1

### TRANSFORMACIÓN DE LA ENERGÍA

#### Objetivo

El alumno comprobará la transformación de la energía potencial a energía cinética mediante el movimiento de un péndulo, en el instante en que éste queda en libertad.

#### Material y equipo

1 pesa de 50 g con gancho	1 pliego de cartulina blanco o papel bond blanco
1 pinza universal	8 hojas de papel carbón
1 plumada	1 nuez
1 soporte universal con varilla de 1 m	2 metros de hilo para coser
1 flexómetro	1 navaja con filo y costilla

### Indicaciones

Utilizar un péndulo que se deja en libertad de movimiento a partir de una posición cuya altura se deberá medir considerando un punto de referencia; al cambiar la posición del péndulo variará su energía potencial, por lo que se deberá tener en cuenta nuevamente la altura en ese momento; al soltar el péndulo, éste pasará por su posición, donde se colocará una navaja para que corte el hilo y la pesa seguirá su trayectoria hasta chocar con el piso. Posteriormente se comparará la  $E_p$  de la pesa con la  $E_c$  alcanzada.

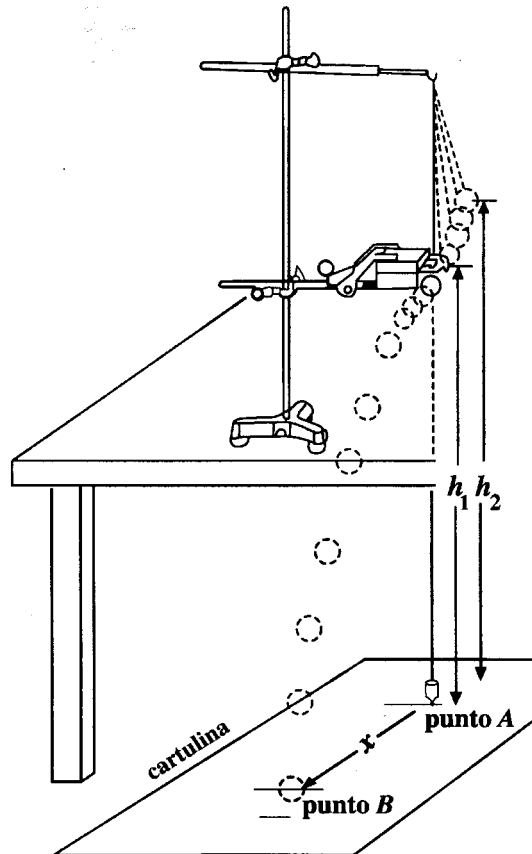


Figura 34.

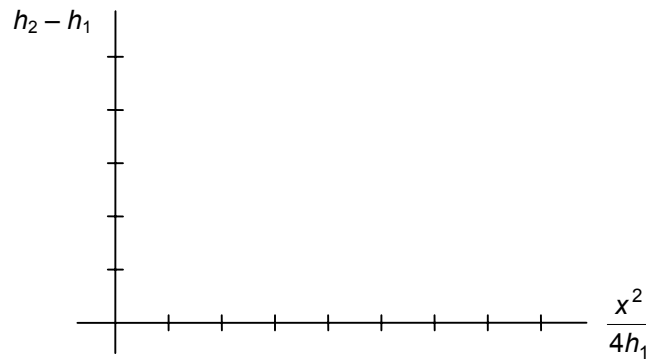
### Procedimiento

- Montar el dispositivo que se muestra en la figura 34, con la pinza universal sujeta la navaja en posición horizontal; para obtener una mejor posición de la navaja, colócala entre dos monedas y posteriormente en la punta de las pinzas.
- Hacer un péndulo con la pesa de 50 g y colocarlo en el soporte universal de manera que quede a ras de la navaja el gancho de la pesa.
- Colocar la cartulina en el piso fijándola con cinta adhesiva y sobre ésta el papel carbón para marcar la posición A y B mostrada en la figura 34.

- d) Marcar con la plomada la posición A en la cartulina, teniendo en cuenta la posición de equilibrio del péndulo.
- e) Medir la altura del péndulo desde el piso hasta la pesa y anotar la lectura en la tabla de datos como  $h_1$ .
- f) Desplazar la pesa hasta una altura  $h_2$  que deberá medirse; anótala en la tabla como  $h_2$ .
- g) Desde la posición anterior soltar la pesa cuidando que la navaja corte el hilo; la pesa seguirá su trayectoria cayendo sobre la cartulina cubierta de papel carbón, (posición B). Retirar el papel carbón y medir la distancia  $x$ , de la posición A a la posición B, anotando la medición en la tabla de datos.
- h) Repetir la experiencia para otros tres o cuatro eventos, considerando diferentes alturas (llena la tabla con los datos).

Número de eventos	$h_1$ en metros	$h_2$ en metros	Distancia A – B en metros $x$	$h_2 - h_1$	$\frac{x^2}{4h_1}$
1					
2					
3					
4					

i) En una hoja de papel milimétrico traza un eje de coordenadas, marca los valores de la tabla de resultados y traza la gráfica.



**Conclusiones**

a) ¿En qué posición la energía potencial es máxima? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

b) ¿En qué posición la energía cinética es máxima? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

c) Con base en la tabla de resultados, cómo es la energía potencial comparada con la energía cinética en cada experimento? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

d) Si la pesa empleada para este experimento fuera de 100g, ¿se cumplirá la ley de la conservación de la energía? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Por qué? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

e) ¿Cuál es tu conclusión respecto a la gráfica? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

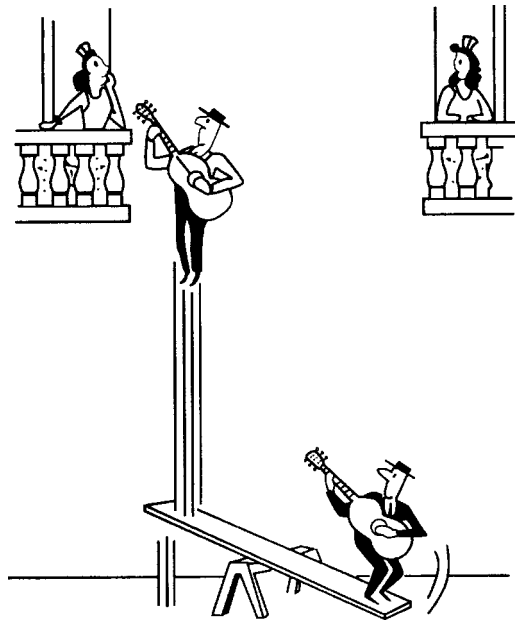


Figura 35. Conservación e la energía. La cantidad  $(\frac{1}{2} Mv^2 + Mgh)$  permanece constante.  
Tomado de O. Soglowf the New Yorquer Inc.

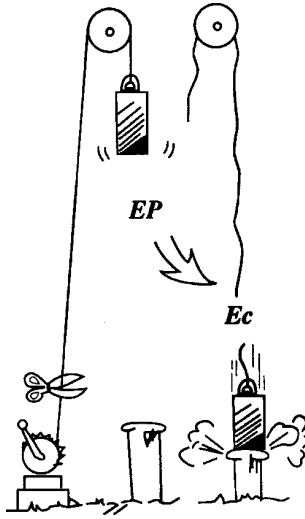


Figura 36. La energía potencial del martinete elevado se convierte en energía cinética cuando se lo deja caer. Tomado de Heitt. Conceptos de Física. México, 1992.

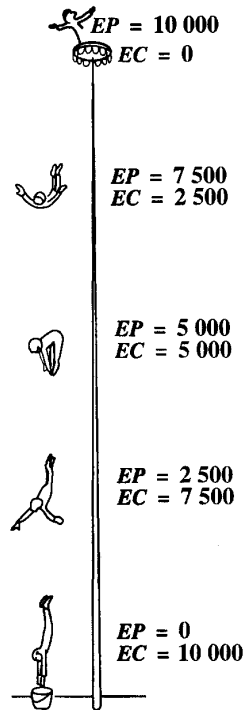


Figura 37. Un clavadista circense tiene energía potencial de 10 000 J en la parte superior de un poste; al saltar, ésta se convierte en energía cinética. Nótese que en las posiciones sucesivas de un cuarto, un medio, tres cuartos y el total recorrido de la caída, la energía total es constante. Tomado de Heitt. Conceptos de Física. México, 1992.



### 1.3.1 Colisiones

La energía mecánica total en un sistema está dada por la suma de la energía potencial más la energía cinética. Cuando tenemos un sistema formado por partículas, la energía total del sistema es la suma de las energías cinética y potencial de todas las partículas. El proceso que ilustra la aplicación de las leyes de conservación del *momentum* y de la energía es el choque o colisiones de dos cuerpos, y pueden ser intencionales o al azar.

En general, las colisiones se clasifican en elásticas e inelásticas según se conserve la energía cinética.

#### Colisiones elásticas

En estas tiene lugar la transformación de la energía de un tipo a otro durante el choque de dos cuerpos elásticos; por ejemplo:

- Una bolsa de acero contra un plancha del mismo material.
- Una pelota de goma contra el suelo.
- Colisión entre átomos y moléculas de un mismo gas.

#### Choque elástico

Análisis gráfico del choque de dos cuerpos

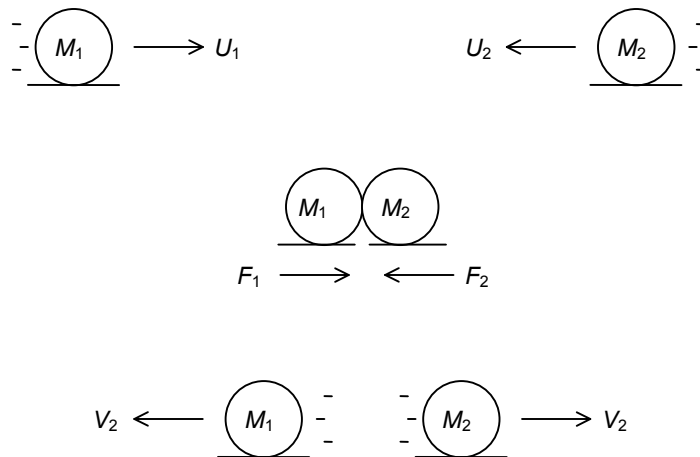


Figura 38. a) Antes del choque; b) en el momento del choque; c) Después del choque.

$F_1$  y  $F_2$  = fuerza.

$M_1$  y  $M_2$  = masas de los cuerpos.

$U_1$  y  $U_2$  = velocidades antes del choque.

$V_1$  y  $V_2$  = velocidades después del choque.

Antes del choque, los cuerpos con masas  $M_1$  y  $M_2$  llevan una velocidad  $U_1$  y  $U_2$  en la misma dirección, pero en sentido opuesto; en el momento de la colisión cada cuerpo aplica una fuerza al otro cuerpo en el sentido que llevaban. Finalmente, después del choque los cuerpos se separan y se mueven en la misma dirección, pero en sentido opuesto con sus respectivas velocidades  $V_1$  y  $V_2$ , que son distintas a las velocidades que llevaban antes del choque.

Se considera que un choque es elástico cuando se considera la energía cinética, es decir, la energía cinética permanece constante antes y después del choque.

### Choques inelásticos

En estos no se conserva la energía cinética, porque durante el choque parte de la energía se transforma en calor y ocasiona una deformación en los cuerpos, quedando unidos después del choque. Su velocidad final será la misma; por ejemplo, la bala incrustada en un bloque de madera.

Se debe tener presente que en choques inelásticos se conserva el *momentum*, más no se conserva la energía cinética.

Choque inelástico. Análisis gráfico del choque de dos cuerpos.

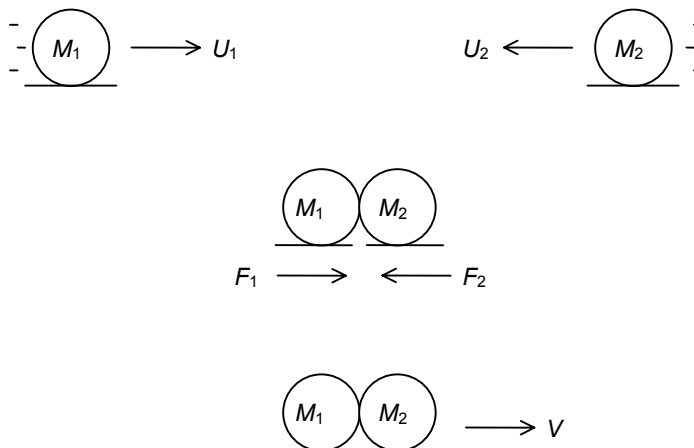


Figura 39. a) Antes del choque; b) En el momento del choque; c) Después del choque.

$M_1$  y  $M_2$  = masas de los cuerpos.  
 $U_1$  y  $U_2$  = velocidad de los cuerpos antes del choque.  
 $F_1$  y  $F_2$  = fuerza de los cuerpos.  
 $V_1$  y  $V_2$  = velocidad de los después del choque.

Antes del choque los cuerpos con masas  $M_1$  y  $M_2$  llevan una velocidad  $U_1$  y  $U_2$  en la misma dirección, pero en sentido opuesto; en el momento de la colisión cada cuerpo aplica una fuerza al otro cuerpo en el sentido que llevaban. Después del choque los cuerpos permanecen unidos y se mueven en el mismo sentido, dirección y la misma velocidad. El choque entre algunos objetos grandes es muy cercano al elástico.

### Caracterización

	<i>Predicción del comportamiento de los cuerpos</i>	<i>La energía cinética</i>	<i>Antes y después del choque</i>	<i>Conservación de la cantidad de movimiento</i>
Choques elásticos	Si	Es constante	$E_{ci} = E_{cf}$	$C_{mi} = C_{mf}$
Choques inelásticos	No	No es constante, se pierde energía calorífica y sonido	$E_{ci} \neq E_{cf}$	$C_{mi} = C_{mf}$

$E_{ci}$  = energía cinética inicial.  
 $E_{cf}$  = energía cinética final.  
 $C_{mi}$  = cantidad de movimiento inicial.  
 $C_{mf}$  = cantidad de movimiento final.

## RECAPITULACIÓN

Al aplicar una fuerza a un cuerpo sin que éste se desplace, se determina que el trabajo es cero. Asimismo, se caracterizó el trabajo mayor o menor en la situación de un cuerpo que se le aplica la misma fuerza en distintos ángulos con respecto al desplazamiento.

En la relación que existe entre el trabajo y la energía cinética, así como con la energía potencial, se observa que la energía es transferible, pero indestructible. Estos conocimientos se resumen en la ley de la conservación de la energía: "La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma de un tipo a otro".

Las fórmulas del trabajo y de las energías describen las relaciones cuantitativas que existen ante una situación dada de un cuerpo y la aplicación de una fuerza que ocasiona su desplazamiento. Además se caracterizó a los choques elásticos e inelásticos.

## ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN

I. Anota en el paréntesis la letra cuya opción consideras correcta.

1. El agua del río se retiene por medio de una presa situada antes de las cataratas. Al soltar el agua ésta cae 66 metros por las cataratas. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta? ( )
  - a) La energía mecánica cinética del agua en la parte superior de las cataratas se convierte en energía mecánica potencial en la base.
  - b) Parte de la energía mecánica del agua se consume.
  - c) La energía potencial del agua aumenta a medida que ésta cae.
  - d) Cuando el agua golpe la base de las cataratas su energía mecánica potencial se convierte en energía cinética.
  
2. Cuando se transforma energía de una forma a otra. ( )
  - a) Parte de la energía se consume.
  - b) Se crea nueva energía.
  - c) La energía total se conserva.
  - d) La cantidad total de energía depende de la forma en que se transforma.
  
3. Carol y Leonel mueven cajas idénticas a distancia iguales en dirección horizontal. Carol resbala la caja en una superficie que no tiene fricción. Leonel levanta su caja, la carga la distancia requerida y la baja de nuevo. ( )
  - a) Carol hace menos trabajo que Leonel.
  - b) Carol hace más trabajo que Leonel.
  - c) Ni Carol ni Leonel hacen trabajo alguno.
  - d) La cantidad de trabajo que hace cada uno depende del tiempo que tomaron.
  
4. La cuerda de un reloj posee energía. ( )
  - a) Cinética
  - b) Potencial
  - c) Luminosa
  - d) Calorífica

5. ¿Qué sucede a la energía cinética en un choque inelástico? ( )

- a) Es constante
- b) Aumenta
- c) No es constante
- d) Disminuye

6. En un choque elástico se puede predecir el comportamiento de los cuerpos. ( )

- a) No
- b) Posiblemente
- c) Dependiendo de los cuerpos
- d) Sí

II. Resuelve los siguientes problemas.

1. Una pelota de beisbol con masa de 0.140 kg tiene una velocidad de 25 m/s. ¿Cuánto trabajo detendrá a la pelota?
2. Un martinete levanta una masa de 120 kh hasta una altura de 15 m. ¿Cuánta energía potencial posee el cuerpo en este punto?
3. En la figura 40 se muestra un esquema . En esté, el carro con carga tiene una masa de 2 000 kg. El punto de partida de la bajada está a 22 m sobre el punto A; la bajada del punto B al punto C tiene 120 m de longitud; el tramo del punto C al punto D es de 100 m. En el punto D se aplican los frenos, parando el carro 15 m más allá, en el punto E. Determina:

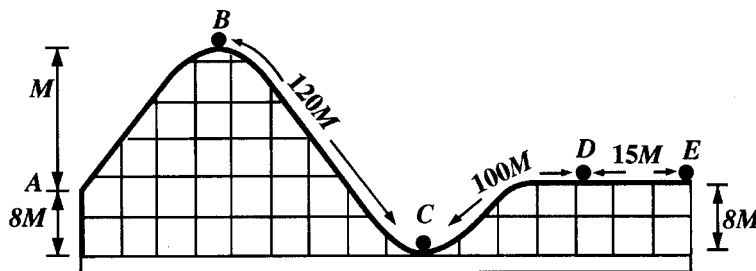


figura 40.

- a) El trabajo efectuado para levantar el carro hasta su punto de partida para su descenso (Punto B).
- b) La energía cinética en el punto C.
- c) La energía potencial en el punto E.

III. Observa la figura 41.

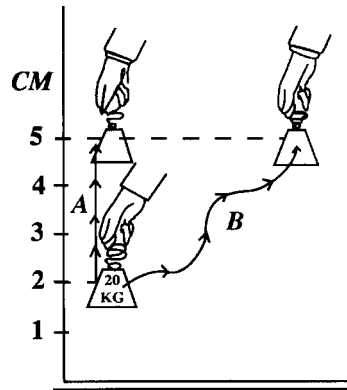


Figura 41.

- Si un hombre sostiene un cuerpo de 20 kg una altura de 20 cm, ¿qué trabajo hace al mantenerlo en esta posición?
- ¿Qué cantidad de trabajo es efectuado si levanta el cuerpo verticalmente hasta una altura de 50 centímetros?
- ¿Cuánto trabajo realiza si lo levanta, siguiendo la trayectoria *B* de la figura?

## AUTOEVALUACIÓN

I.

1. d
2. c
3. b
4. b
5. c
6. d

II.

1.  $W = 43.75\text{J}$
2.  $E_p = 17\,640\text{J}$
3. a)  $W = 431\,200\text{J}$   
b)  $E_c = 588\,000\text{J}$   
c)  $E_p = 156\,800\text{J}$

III.

- a) Ninguno, puesto que no se efectúa ningún movimiento
- b) El hecho de levantar el cuerpo requiere una fuerza de 20 kg y ésta se mueve hasta una distancia de 30 cm en dirección de la fuerza, por lo tanto, el trabajo efectuado es de  $20\text{ kg} \times 30\text{ cm} = 600\text{ kg/cm}$ .
- c) Únicamente se debe considerar la distancia que va en la dirección en que es aplicada la fuerza, y como a fin de cuentas el cuerpo es movido 30 cm verticalmente, el resultado es el mismo que en B (600 kg/cm).



## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ALVARENGA**, Máximo. Física general con experimentos. Harla, México, 1983.
- BLACKWOOD**, Kelly y Bell. Física general. CECSA, México, 1988, pp. 107-1114.
- BLATT**, Frank J. Fundamentos de Física. 3ª. ed, Prentice-Hall Hispanoamericana, México.1991, pp 86-102 y 122-129.
- CETTO**, Ana María y Tambutti Romilio. El mundo de la física. Trillas, Méxcio,1987.
- OYARZÁBAL**, Félix y Velasco. Lecciones de física. CECSA, México, 1987, pp.169-178.
- HABER-SCAIM, CROSS, DODGE y WALTER**: Física. PSSC, vol 2, 3ª. ed. Reverté, Barcelona, 1975.
- HEITT**. Conceptos de física. Limusa, México, 1992.
- MURPHY / SMOOT**. Física, principios y problemas. CECSA, México,1991, pp.151-171.
- PÉREZ** Montiel, Héctor, Física general. Publicaciones Cultural, México, 1992, pp.191-199 y 208.
- STOLLERG/HILL**. Fundamentos y fronteras. Publicaciones Cultura, México, 1981, pp. 119-133.
- WILSON**. Física con aplicaciones. 2ª. ed. Mc Graw-Hill, México.